# บทที่ 3

# อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

## วัสดุอุปกรณ์

### วัตถุดิบ

- แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวตราทานตะวันผลิตโดยบริษัท ไทยอินเตอร์เนชันแนลไรซ์ฟลาว จำกัด จังหวัดนครปฐม
- น้ำตาลตราวังขนายผลิตโดยบริษัท น้ำตาลวังขนาย จำกัด จังหวัดกาญจนบุรี
- เกลือตราปรุงทิพย์ผลิตโดยบริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด จังหวัดนครราชสีมา
- มอล์ตสกัดชนิดผงผลิตโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด นิวทรีชัน กรุงเทพ ฯ
- เลซิทินชนิดแคปซูลตราเมดิคราฟท์ผลิตโดยบริษัท เมดิแคป จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ
- นมผงพร่องมันเนยตราแอนลีนผลิตโดยบริษัท กีวีโคออฟเปอร์เรทีฟแดรี จำกัด ประเทศนิวซีแลนด์
- เนยชนิดเค็มตราอลาวรีผลิตโดยบริษัท ยูไนเต็ดแดรีฟูต จำกัด กรุงเทพ ฯ

### อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง : Analytical balance, model metter BB120, Switzerland
- เครื่องรีดบะหมี่ : Macchina per pasta, model atlas 150, France
- เตาอบไมโครเวฟ ความถี่คลื่นไมโครเวฟ 2,450 เมกะเฮิรต์ : National, model NN-K652 ผลิตโดยบริษัท มัตซึชิตะอิเลคทริคอินดิสเทรียล จำกัด ประเทศญี่ปุ่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ภาชนะจานเซรามิควงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20.5 เซนติเมตรและสูง 2.5 เซนติเมตร

**อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ**

1. ***อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ***

- เครื่องวัดสี : Hunter Lab, Color Quest II Colorimeter, USA
- เครื่องวัดค่าแรงต้านการเจาะทะลุ : Instron, model 5565, USA

2. ***อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี***

- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ : Water bath, model memmert WB14, Germany
- เตาอบแบบลมร้อนชนิดถาด : Tray dryer, model kottermann, Germany
- เครื่อง Spectrophotometer : UV/VIS Spectrometer, model jasco V-530, Japan
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง : Sortorius analytical, model A120S, Switzerland
- ชุดย่อยโปรตีน : Digestion unit, model digestion'6 1007 digertor, Sweden
- ชุดกลั่นโปรตีน : 2100 Kjeltec distrillation unit, model foss tecator, Sweden
- เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ: AQUA LAB, model series 3, sereal S36092, Switzerland
- เตาเผา : Muffle furnance, model gallenkamp, USA
- เครื่องวัดปริมาณกรดด่าง : pH mater, model orion 520A, Orion research Inc., USA

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

*3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา*

- หม้อนึ่งความดัน : Autoclave, model hirayama HA-300MIV, Japan
- ตู้บ่มเชื้อ : Incubator, model heraeus D-6450 hanau, Germany

*4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส*

- ชุดอุปกรณ์ทดสอบชิม
- แบบสอบถามทางประสาทสัมผัส

**สารเคมี**

- ไอโอดีน : Iodine, $I_2$, APS finechem, Australia
- โพแทสเซียมไอโอไดด์ : Potassium iodide, APS finechem, Australia
- เอทานอล : Ethyl alcohol; EtOH, $C_2H_5OH$, Merck, Germany
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ : Sodium hydroxide, NaOH, Merck, Germany
- กรดอะซิติก : Acitic acid, $CH_3COOH$, Merck, Germany
- โปเตโตอะไมโลส : Potato amylose, Fluka, Switzerland
- คอปเปอร์ซัลเฟต : Copper sulfate pentahydrate, $CuSo_4.5H_2O$, Anala R, England
- โซเดียมโปแตสเซียมตาร์เตรท : Sodium potassium tartrate, $NaKC_4O_6.4H_2O$, Merck, Germany
- ซิงค์อะซีเตดไดไฮเดรท : Zinc acectate dihydrate, $(CH_3OO)_2Zn.2H_2O$, Merck, Germany
- โปแตสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ : Potassium ferrocyanide, $K_4(Fe(CN_6)).3H_2O$, Merck, Germany
- กรดไฮโดรคลอริก : Hydrocloric acid, HCL, Merck, Germany
- เมธิลีนบูล : Methylene blue, $(CH_2)_2NC_6H_3N:C_6H_3(N(CH_3)_2) : 3H_2O$, J.T. Baker, USA
- กรดซัลฟูริก : Sulfluric acid, $H_2SO_4$, Merck, Germany

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- โปแทสเซียมซัลฟูริก : Potassium sulfluric, $K_2SO_4$, Merck, Germany
- เมทิลเรด : Methyred GR Grad, Merck, Germany
- โบรโมกรีซอลกรีน : Bromogresol green GR Grad, Merck, Germany
- กรดบอริก : Boric acid, Merck, Germany
- แอมโมเนีย : Ammonium, $NH_3OH$, Merck, Germany
- ไดเอทิลอีเทอร์ : Diethyl ether, Merck, Germany
- ปิโตรเลียมอีเทอร์ : Petroleum ether, Merck, Germany
- เพลทเค้าท์อาการ์ : Plate Count Agar, Becto® Plate Count Agar, Difco Laboratory, USA
- โพเตโตเด็กโทรสอาการ์ : Potato Dextrose Agar, Becto® Potato Dextrose Agar, Difco Laboratory, USA
- กรดตาร์ตาริก : Tartaric acid, $HOOC(CHOH)_2COOH$, Carlo Erba Reagenti, Germany
- เปปโตน : Peptone, Becto® Peptone, Difco Laboratory, USA
- บิลเลียนกรีนเล็กโตรสบาล์บอร์ท : Brilliant green lactose bile broth, Becto® Brilliant green lactose bile broth, Difco Laboratory, USA

**โปรแกรมประมวลผลข้อมูลทางสถิติ**

- โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS
- โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft excel
- โปรแกรมสำเร็จรูป Mathcad 7 Professional
- โปรแกรมสำเร็จรูป Statistica version 5.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**วิธีการทดลอง**

การศึกษาผลของไมโครเวฟที่มีต่อการแปรรูปอาหารเช้าพร้อมบริโภคจากธัญชาติ โดยใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบเป็นตัวอย่างในการศึกษาวิจัย แบ่งงานวิจัยออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

**ตอนที่ 1 ศึกษาแนวทางในการพัฒนาสูตรเบื้องต้นของแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ**

**1.1 การสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์**

ทำการสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบได้โดยใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบต้นแบบเป็นตัวอย่างในการทดสอบ ใช้สูตรแผ่นข้าวอบกรอบ ซึ่งได้จากการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการพัฒนาสูตรแผ่นข้าวอบกรอบ ได้สูตรพื้นฐานเป็นดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| แป้งข้าวเจ้า | ร้อยละ | 48 |
| น้ำตาล | ร้อยละ | 26 |
| แป้งข้าวเหนียว | ร้อยละ | 20.5 |
| มอล์ตสกัด | ร้อยละ | 2.6 |
| เกลือ | ร้อยละ | 1.5 |
| นมผงพร่องมันเนย | ร้อยละ | 1.3 |
| เลซิทิน | ร้อยละ | 0.1 |

นำสูตรพื้นฐานมาทำการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบดังนี้ (ดัดแปลงจากจิราภา, 2539)

1. เตรียมส่วนผสมได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว น้ำตาล เกลือ มอล์ตสกัด เลซิทิน นมผงพร่องมันเนยและน้ำ

2. ชั่งน้ำหนักส่วนผสมทุกตัวตามสูตรต้นแบบด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า

3. ผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้มือผสม และเติมน้ำเพื่อปรับส่วนผสมให้โดมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมตามสูตร

4. นำโดมารีดให้เป็นแผ่นหนา 3 มิลลิเมตรด้วยเครื่องรีดบะหมี่ และนำมานึ่งที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาทีด้วยลังถึงบนเตาแก๊ส

5. รีดด้วยเครื่องรีดบะหมี่ จนได้โดที่มีความหนา 0.25 มิลลิเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. ตัดให้เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดกว้างและยาว 1.5 เซนติเมตรด้วยกรรไกร

7. นำโดที่ตัดเป็นชิ้นวางเรียงบนภาชนะจานเซรามิค โดยวางเรียงแผ่นข้าวอบกรอบ 15 ชิ้นต่อจาน นำไปเข้าเตาอบไมโครเวฟ โดยใช้ระดับพลังงานความร้อนของไมโครเวฟสูงปานกลาง (medium-high) หรือระดับการทำงานของแมกนิตรอนร้อยละ 75 เป็นเวลา 1 นาที จะได้แผ่นข้าวอบกรอบที่แปรรูปโดยไมโครเวฟ

8. นำแผ่นข้าวอบกรอบที่ได้มาบรรจุลงในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนตปิดผนึกและเก็บที่อุณหภูมิห้อง และนำไปทดสอบคุณภาพของแผ่นข้าวอบกรอบต่อไป

จากนั้นนำผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบต้นแบบ มาทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยในการทดสอบชิม จะใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน 15 คนโดยคัดเลือกจากพฤติกรรมพื้นฐานในการบริโภคอาหารเช้าพร้อมบริโภคจากธัญชาติ นำตัวอย่างแผ่นข้าวอบกรอบที่จะทดสอบชิมใส่ในถ้วยพลาสติกที่มีรหัสเลข 3 ตัว ซึ่งสุ่มได้จากตารางสุ่มตัวอย่าง และให้ผู้ทดสอบชิมทำการกำหนดลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ด้วยตนเอง ซึ่งลักษณะที่ใช้ทดสอบจะแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะใหญ่ได้แก่ ลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติและการยอมรับโดยรวม โดยใช้แบบทดสอบดังภาพ ข.1 และให้ผู้ทดสอบชิมทำเครื่องหมายลงบนเสกลเส้นตรงแบบ horizontal line scale ตรงตำแหน่งที่เห็นว่าเป็นระดับความรุนแรง หรือระดับความเข้มข้นของลักษณะนั้นที่ดีที่สุดของผลิตภัณฑ์เป็นค่าในอุดมคติ (ideal) และทำเครื่องหมายในตำแหน่งที่ผู้ทดสอบชิมเห็นว่าเป็นลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ใช้ทดสอบ ค่าสัดส่วนระยะทางระหว่างตำแหน่งทั้งสองจะถูกใช้เป็นข้อมูลเค้าโครงผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาต่อไป และสำหรับตำแหน่งที่เป็นค่าในอุดมคติจะกำหนดเป็น fixed ideal สำหรับการทดสอบด้วยวิธี Ideal Ratio technique และทำการสร้างกราฟเค้าโครงผลิตภัณฑ์ในลักษณะรูปวงกลมแบบใยแมงมุม (cyclic profile) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบที่แปรรูปโดยไมโครเวฟต่อไป (Lawless and Hildegarde, 1998)

### 1.2 การกลั่นกรองปัจจัยทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของแผ่นข้าวอบกรอบ

ปัจจัยทดลองที่ต้องการกลั่นกรองในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบที่แปรรูปโดยไมโครเวฟ มีทั้งหมด 7 ปัจจัยได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว น้ำตาล มอลต์สกัด เกลือ เลซิทิน และนมผงพร่องมันเนย โดยวางแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman design (N=12)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Plackett and Burman, 1946) ซึ่งทำให้ได้สิ่งทดลองดังตาราง 3.1 และกำหนดระดับสูงต่ำของปัจจัยดังแสดงในตาราง 3.2

เมื่อได้สิ่งทดลองตามแผนการทดลองที่กำหนด จะนำตัวอย่างแผ่นข้าวอบกรอบทั้ง 12 สิ่งทดลองมาวิเคราะห์ค่าทางกายภาพคือ วัดค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) โดยเครื่องวัดสี และวัดค่าแรงต้านการเจาะทะลุโดยเครื่อง Instron วิเคราะห์ค่าทางเคมีคือ วัดปริมาณความชื้น (moisture content) ตามวิธี ค.2.1 รวมทั้งทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี Ideal Ratio Profile technique (Lawless and Hildegarde, 1998) ในการทดสอบชิมจะใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน 15 คน นำตัวอย่างแผ่นข้าวอบกรอบที่จะทดสอบชิมใส่ในถ้วยพลาสติกที่มีรหัสเลข 3 ตัว ซึ่งสุ่มได้จากตารางสุ่มตัวอย่าง ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสดังภาพ ข.2 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมีและทางประสาทสัมผัสที่ได้ทั้งหมดและนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยนำข้อมูลจากผลการทดลองมาคำนวณ เพื่อหาว่าปัจจัยใดที่มีความสำคัญต่อคุณลักษณะของแผ่นข้าวอบกรอบ โดยนำค่าเฉลี่ยของค่าทางกายภาพ เคมีและทางประสาทสัมผัสในแต่ละสิ่งทดลองมาหาผล (effect) ของปัจจัยทดลองที่มีต่อลักษณะนั้นๆ ตามสมการ 3.1 ผลของดัมมี่ (effect of dummy) จะถูกนำมารวมกัน เพื่อประมาณค่าความแปรปรวน (variene of effect) ของผลจากปัจจัยต่างๆดังสมการ 3.2 ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) จากผลของดัมมี่ จะคำนวณได้จากสมการ 3.3 และนำมาคำนวณหาความแตกต่างทางสถิติของแต่ละปัจจัย ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้ t คำนวณ ดังสมการ 3.4 (Plackett and Burman, 1946)

$$\text{ผลของปัจจัย} = (\text{ผลรวมของค่าปัจจัยระดับสูง} - \text{ผลรวมของค่าปัจจัยระดับต่ำ})/6 \quad (3.1)$$

$$\text{ความแปรปรวน} = \text{ผลรวมของผลของดัมมี่}^2/4 \quad (3.2)$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน} = \sqrt{\text{ความแปรปรวน}} \quad (3.3)$$

$$t \text{ คำนวณ} = \text{ผลของปัจจัย}/\text{ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน} \quad (3.4)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดสอบความแตกต่างทางสถิติทำได้โดยนำค่า t คำนวณที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับตารางค่า t test ที่มีดีกรีออฟฟรีดอม (degree of freedom) เท่ากับ 4 หรือเท่ากับจำนวนของดัมมี่

**ตาราง 3.1** แผนการทดลองที่ใช้ในการกลั่นกรองหาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของแผ่นข้าวอบกรอบ

| สิ่งทดลอง | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.2.1 | + | + | - | + | + | + | - | - | - | + | - |
| 1.2.2 | + | - | + | + | + | - | - | - | + | - | + |
| 1.2.3 | - | + | + | + | - | - | - | + | - | + | + |
| 1.2.4 | + | + | + | - | - | - | + | - | + | + | - |
| 1.2.5 | + | + | - | - | - | + | - | + | + | - | + |
| 1.2.6 | + | - | - | - | + | - | + | + | - | + | + |
| 1.2.7 | - | - | - | + | - | + | + | - | + | + | + |
| 1.2.8 | - | - | + | - | + | + | - | + | + | + | - |
| 1.2.9 | - | + | - | + | + | - | + | + | + | - | - |
| 1.2.10 | + | - | + | + | - | + | + | + | - | - | - |
| 1.2.11 | - | + | + | - | + | + | + | - | - | - | + |
| 1.2.12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

หมายเหตุ + หมายถึงการกำหนดให้ปัจจัยนั้นอยู่ในระดับสูง

- หมายถึงการกำหนดให้ปัจจัยนั้นอยู่ในระดับต่ำ

โดยที่กำหนดให้ปัจจัยต่างๆแทนด้วยตัวอักษรดังนี้

A แทน แป้งข้าวเจ้า
B แทน แป้งข้าวเหนียว
C แทน น้ำตาล
D แทน มอลต์สกัด
E แทน เกลือ
F แทน เลซิทิน
G แทน นมผงพร่องมันเนย
H แทน dummy variable
I แทน dummy variable
J แทน dummy variable
K แทน dummy variable

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตาราง** 3.2 ระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัยทดลอง

| ปัจจัย (ร้อยละ) | ระดับสูง (+) | ระดับต่ำ (-) |
|---|---|---|
| แป้งข้าวเจ้า | 55.0 | 48.0 |
| แป้งข้าวเหนียว | 20.5 | 14.0 |
| น้ำตาล | 35.0 | 26.0 |
| มอล์ตสกัด | 2.6 | 1.5 |
| เกลือ | 1.5 | 0.5 |
| เลซิทิน | 0.1 | 0 |
| นมผงพร่องมันเนย | 1.3 | 0 |

### 1.3 การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทดลอง

นำปัจจัยที่ผ่านการกลั่นกรอง ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณภาพของแผ่นข้าวอบกรอบ จากการทดลองตอนที่ 1.2 มาทำการหาระดับที่เหมาะสม โดยวางแผนการทดลองแบบ $2^n$ Factorial experiment รวมกับการทดลองที่จุดกึ่งกลาง 3 จุด เมื่อ n เป็นจำนวนปัจจัยที่กลั่นกรองได้ (Milton, 1992)

เมื่อได้สิ่งทดลองตามแผนการทดลองที่กำหนด จะนำตัวอย่างแผ่นข้าวอบกรอบมาวิเคราะห์ค่าทางกายภาพ เคมีและทางประสาทสัมผัสตามตอนที่ 1.2 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิธี stepwise regression จะได้สมการถดถอย จากนั้นนำสมการถดถอยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) มาทำการถอดรหัสโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Mathcad 7 Professional เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณอะไมโลสที่มีต่อคุณสมบัติความกรอบ และหาปริมาณอะไมโลสที่เหมาะสมในการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบ โดยไมโครเวฟ**

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized design (Milton, 1992) สิ่งทดลองได้แก่ แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวที่ผสมกันจนมีปริมาณอะไมโลสเท่ากับร้อยละ 10.16, 15.21, 20.98, 25.15 และ 30.70 ตามตาราง 3.3 วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสโดยวิธี Iodine Blue Value (Knutson, 1986) โดยกำหนดให้ปัจจัยอื่นๆเป็นปัจจัยคงที่ได้แก่ น้ำตาล มอลต์สกัด เกลือ เลซิทิน นมผงพร่องมันเนยและน้ำ

**ตาราง 3.3** แผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณอะไมโลสที่มีต่อความกรอบ

| แป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ) | แป้งข้าวเหนียว (ร้อยละ) | ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ) |
|---|---|---|
| 0 | 100 | 10.16 |
| 45 | 55 | 15.21 |
| 55 | 45 | 20.98 |
| 65 | 35 | 25.15 |
| 68 | 32 | 30.70 |

เมื่อได้สิ่งทดลองตามแผนการทดลองที่กำหนด นำโดก่อนผ่านการนึ่งในแต่ละสูตรมาทำการหาปริมาณความชื้นตามวิธี ค.2.1 และนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์สุดท้ายในแต่ละสูตรมาวัดค่าแรงต้านการเจาะทะลุโดยเครื่อง Instron ทำการบันทึกข้อมูลปริมาณความชื้น และค่าแรงต้านการเจาะทะลุที่ได้ทั้งหมดและนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อหาข้อสรุปจากการทดลองถึงผลของปริมาณอะไมโลสที่มีต่อคุณสมบัติความกรอบ ผลที่ได้จะสามารถกำหนดอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวที่เหมาะสมของการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

การทดลองในตอนที่ 1 และตอนที่ 2 นี้ทำให้ทราบถึงสูตรของแผ่นข้าวอบกรอบที่เหมาะสมในการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตอนที่ 3 ศึกษาแนวทางในการพัฒนากระบวนการแปรรูปที่เหมาะสม ของแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ**

การทดลองหากระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมที่จะให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดี จะต้องมีการพัฒนากระบวนการแปรรูป 5 ขั้นตอนดังนี้

**3.1 การหาอุณหภูมิ และระยะเวลาในการนึ่งโดที่เหมาะสม**

วางแผนการทดลองแบบ $2^2$ Factorial experiment รวมกับการทดลองที่จุดกึ่งกลาง 3 จุด รวมทั้งหมด 7 สิ่งทดลอง (Milton, 1992) ซึ่งแสดงดังตาราง 3.4 โดยกำหนดให้

ปัจจัย A คือ อุณหภูมิของโดที่ใช้ในการนึ่งโดหน่วยเป็นองศาเซลเซียสโดย

-1 แทน ระดับต่ำคือ 75 องศาเซลเซียส

0 แทน ระดับกลางคือ 85 องศาเซลเซียส

1 แทน ระดับสูงคือ 95 องศาเซลเซียส

ปัจจัย B คือ เวลาที่ใช้ในการนึ่งโดหน่วยเป็นนาทีโดย

-1 แทน ระดับต่ำคือ 30 นาที

0 แทน ระดับกลางคือ 45 นาที

1 แทน ระดับสูงคือ 60 นาที

เมื่อได้สิ่งทดลองตามแผนการทดลองที่กำหนด จะนำตัวอย่างแผ่นข้าวอบกรอบทั้ง 7 สิ่งทดลองมาวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสตามตอนที่ 1.2 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิธี stepwise regression จะได้สมการถดถอย จากนั้นนำสมการถดถอยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) มาทำการถอดรหัสโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Mathcad 7 Professional เพื่อหากระบวนการนึ่งโดที่เหมาะสมต่อการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 3.4 แผนการทดลองที่ใช้ในการหาอุณหภูมิและระยะเวลาในการนึ่งโด และหาระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาที่เหมาะสม

| สิ่งทดลอง | ปัจจัย A | ปัจจัย B |
|---|---|---|
| 3.1.1, 3.4.1 (1) | -1 | -1 |
| 3.1.2, 3.4.2 (a) | 1 | -1 |
| 3.1.3, 3.4.3 (b) | -1 | 1 |
| 3.1.4, 3.4.4 (ab) | 1 | 1 |
| 3.1.5, 3.4.5 ($cp_1$) | 0 | 0 |
| 3.1.6, 3.4.6 ($cp_2$) | 0 | 0 |
| 3.1.7, 3.4.7 ($cp_3$) | 0 | 0 |

หมายเหตุ (1) หมายถึง ระดับของปัจจัยทุกตัวเป็นระดับต่ำ

a หมายถึง ระดับของปัจจัย A เป็นระดับสูง

b หมายถึง ระดับของปัจจัย B เป็นระดับสูง

$cp_1$, $cp_2$ และ $cp_3$ หมายถึง ระดับของปัจจัยทุกตัวเป็นระดับกลาง หรือจุดกึ่งกลาง

### 3.2 การหาความหนาของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

ปัจจัยทดลองที่ต้องการศึกษามี 1 ปัจจัยคือ ความหนา วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block design (Milton, 1992) ทำการกำหนดความหนาของแผ่นแป้งด้วยเครื่องรีดบะหมี่คือ ความหนาของแผ่นแป้งเท่ากับ 0.1, 0.25 และ 0.5 มิลลิเมตร

เมื่อได้สิ่งทดลองตามแผนการทดลองที่กำหนด จะนำตัวอย่างแผ่นข้าวอบกรอบในแต่ละสูตรมาทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสตามตอนที่ 1.2 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อหาความหนาของแผ่นแป้งที่เหมาะสมต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

### 3.3 การหาเวลาในการอบโดเพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นของโดที่เหมาะสมในการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized design (Milton, 1992) ดำเนินการทดลองโดยนำโดที่ผ่านการรีดด้วยเครื่องรีดบะหมี่ มาเข้าเตาอบแบบลมร้อนชนิดถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพื่อลดความชื้นของโดให้มีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 15, 20 และ 25

เมื่อได้สิ่งทดลองตามแผนการทดลองที่กำหนด นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวัดค่าแรงต้านการเจาะทะลุ โดยเครื่อง Instron นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อหาเวลาในการอบโดที่ให้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สุดในการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

### 3.4 การหาระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟและเวลาที่เหมาะสม

วางแผนการทดลองแบบ $2^2$ Factorial experiment รวมกับการทดลองที่จุดกึ่งกลาง 3 จุด รวมทั้งหมด 7 สิ่งทดลอง (Milton, 1992) ซึ่งแสดงดังตาราง 3.4 โดยกำหนดให้

ปัจจัย A คือ ระดับพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟโดย

-1 แทน ระดับต่ำคือ สูงสุด (high) หมายถึง การทำงานของแมกนิตรอนร้อยละ 100

0 แทน ระดับกลางคือ สูงปานกลาง (medium-high) หมายถึง การทำงานของแมกนิตรอนร้อยละ 75

1 แทน ระดับสูงคือ ปานกลาง (medium) หมายถึง การทำงานของแมกนิตรอนร้อยละ 50

ปัจจัย B คือ เวลาที่ใช้ในการอบแผ่นข้าวอบกรอบหน่วยเป็นวินาทีโดย

-1 แทน ระดับต่ำคือ 45 วินาที

0 แทน ระดับกลางคือ 60 วินาที

1 แทน ระดับสูงคือ 75 วินาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อได้สิ่งทดลองตามแผนการทดลองที่กำหนด จะนำตัวอย่างแผ่นข้าวอบกรอบทั้ง 7 สิ่งทดลองมาวิเคราะห์ค่าทางกายภาพ เคมีและทางประสาทสัมผัสตามตอนที่ 1.2 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิธี stepwise regression จะได้สมการถดถอย นำสมการถดถอยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) มาทำการถอดรหัสโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Mathcad 7 Professional เพื่อหาระดับพลังงานความร้อนและเวลาการอบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

### 3.5 การเปรียบเทียบความคงตัวในน้ำนมระหว่างแผ่นข้าวอบกรอบที่เคลือบคาราเมลระดับต่าง ๆ

แผ่นข้าวอบกรอบได้ทำขึ้นตามสูตรที่ได้มาจากตอนที่ 1 และ 2 และตามกระบวนการแปรรูปจากตอนที่ 3.1–3.4 ทั้งไม่เคลือบคาราเมลและเคลือบคาราเมลเป็นร้อยละของน้ำหนักผลิตภัณฑ์เท่ากับ 40, 50, 60 และ 70 ดังแสดงในตาราง 3.5 เพื่อเปรียบเทียบความคงตัวในน้ำนม วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (Milton, 1992)

**ตาราง 3.5** สิ่งทดลองที่ใช้ในการเปรียบเทียบความคงตัวในน้ำนมของแผ่นข้าวอบกรอบ

| สิ่งทดลอง | สิ่งทดลอง |
|---|---|
| 3.5.1 | แผ่นข้าวอบกรอบที่ไม่เคลือบคาราเมล |
| 3.5.2 | แผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลร้อยละ 40 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ |
| 3.5.3 | แผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลร้อยละ 50 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ |
| 3.5.4 | แผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลร้อยละ 60 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ |
| 3.5.5 | แผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลร้อยละ 70 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ |
| 3.5.6 | แผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลตราโดเน่ (ผลิตภัณฑ์ทางการค้า) |

สูตรส่วนผสมน้ำเคลือบคาราเมลสำหรับเคลือบลงบนแผ่นข้าวอบกรอบมีดังนี้ (พัชรินทร์และสุจิรา, 2542)

| | |
|---|---|
| น้ำ | ร้อยละ 82 |
| น้ำตาล | ร้อยละ 12 |
| เนยชนิดเค็ม | ร้อยละ 5.8 |
| เกลือ | ร้อยละ 0.2 |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และนำมาเคลือบคาราเมลลงบนแผ่นข้าวอบกรอบดังนี้ (ดัดแปลงจากพัชรินทร์และสุจิรา, 2542)

1. นำเนยชนิดเค็มใส่ลงในหม้อสแตนเลส นำไปตั้งไฟบนเตาแก๊ส
2. เมื่อเนยละลายหมด ให้เติมน้ำ น้ำตาลและเกลือลงไปและคนให้เข้ากัน
3. เคี่ยวจนส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันโดยต้องมีการคนอย่างสม่ำเสมอที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที
4. พ่นน้ำเคลือบคาราเมลเป็นฝอยบางๆด้วยกระบอกพ่นฝอยบนแผ่นข้าวอบกรอบ โดยการควบคุมน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า
5. อบแผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลในเตาอบแบบลมร้อนชนิดถาด ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
6. จะได้ผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมล

เมื่อได้แผ่นข้าวอบกรอบเคลือบคาราเมลจะนำมาทำการทดสอบความคงตัวในแง่ความกรอบของแผ่นข้าวอบกรอบ โดยนำแผ่นข้าวอบกรอบทั้งที่เคลือบและไม่เคลือบคาราเมลใส่ลงไปในน้ำนมสดตรามะลิ ผลิตโดยบริษัท อุตสาหกรรมนมไทย จำกัด จังหวัดอยุธยา อุณหภูมินมที่ใช้ในการทดสอบคือ อุณหภูมิห้อง ปริมาตรน้ำนมที่ใช้ในการทดสอบความคงตัวในน้ำนมของแผ่นข้าวอบกรอบคือ 200 มิลลิลิตรต่อครั้ง เมื่อครบเวลา 0.5, 1, 1.5, 2, 3 และ 4 นาที นำแผ่นข้าวอบกรอบมาทดสอบค่าแรงต้านการเจาะทะลุของผลิตภัณฑ์แผ่นข้าวอบกรอบ โดยเครื่อง Instron (Burrington, 2001) รวมทั้งทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้วิธี Ideal Ratio Profile technique (Lawless and Hildegarde, 1998) ในการทดสอบชิม จะใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน 15 คน นำตัวอย่างแผ่นข้าวอบกรอบที่จะทดสอบชิมใส่ในถ้วยพลาสติกที่มีรหัสเลข 3 ตัว ซึ่งสุ่มได้จากตารางสุ่มตัวอย่าง ลักษณะที่ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้แก่ รสหวาน โดยให้ผู้ทดสอบชิมนำผลิตภัณฑ์ใส่ลงในน้ำนมและทำการทดสอบชิมในทันที เพื่อดูการยอมรับของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อความหวานของผลิตภัณฑ์บันทึกข้อมูลความคงตัวในน้ำนมที่ได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อหาความคงตัวในน้ำนมของแผ่นข้าวอบกรอบแบบไม่เคลือบคาราเมลและเคลือบคาราเมลเป็นร้อยละของน้ำหนักชิ้นผลิตภัณฑ์เท่ากับ 40, 50, 60 และ 70

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองในตอนที่ 3 นี้ ทำให้ทราบถึงกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมของแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟ

**ตอนที่ 4 ศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยาและการยอมรับของผู้ทดสอบชิม**

ทำการแปรรูปแผ่นข้าวอบกรอบโดยไมโครเวฟโดยใช้สูตรที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 และ 2 และกระบวนการแปรรูปจากตอนที่ 3 นำแผ่นข้าวอบกรอบมาทำการวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

4.1 **การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี** ได้แก่

- วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture content) ตามวิธี ค.2.1
- วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดตามวิธี Lane และ Eynon (ค.2.2)
- วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl (ค.2.3)
- วิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธี Rose-Gottlieb (ค.2.4)
- วิเคราะห์ปริมาณเส้นใยตามวิธี ค.2.5
- วิเคราะห์ปริมาณเถ้าทั้งหมดตามวิธี ค.2.6
- วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีคำนวณ (ค.2.7)
- วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (water activity; $A_w$) โดยเครื่อง AQUA LAB

4.2 **การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ** ได้แก่

- วัดค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) โดยเครื่องวัดสี
- วัดค่าแรงต้านการเจาะทะลุโดยเครื่อง Instron

4.3 **การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลชีววิทยา** ได้แก่

- หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยวิธี Total plate count (ค.3.1)
- หาปริมาณยีสต์และราโดยวิธี Pour plate (ค.3.2)
- ตรวจหาเชื้อโคลิฟอร์ม (Coliform) โดยวิธี MPN (ค.3.3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**4.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส**

ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของแผ่นข้าวอบกรอบตามตอนที่ 1.2

**4.5 การศึกษาอายุการเก็บรักษาแผ่นข้าวอบกรอบ**

ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาของแผ่นข้าวอบกรอบ โดยบรรจุแผ่นข้าวอบกรอบลงในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนตเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อครบเวลา 0, 1, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ จะทำการสุ่มตัวอย่างแผ่นข้าวอบกรอบครั้งละ 3 ตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ค่าแรงต้านการเจาะทะลุโดยใช้เครื่อง Instron

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved